

WPŁYW STOPNIA ROZDROBNIENIA PREPARATÓW WYSOKOBŁONNIKOWYCH NA WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNE CIASTA PSZENNEGO

*Jarosław Wyrwisz, Andrzej Półtorak, Małgorzata Moczowska, Katarzyna Żontała,
Adrian Stelmasiak, Joanna Łopacka, Urszula Ulanicka, Agnieszka Wierzbicka
Samodzielny Zakład Techniki w Żywieniu, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie*

Streszczenie. Celem pracy była analiza wpływu stopnia rozdrobnienia preparatu błonnikowego owsianego i jabłkowego na właściwości reologiczne płynu lepkosprężystego reprezentowanego przez ciasto pszenne drożdżowe z dodatkiem preparatów błonnikowych o różnym stopniu rozdrobnienia (R1: 10–13 μ m oraz R2: 20–25 μ m) i różnym pochodzeniu (błonnik owsiany – OW i jabłkowy – JB). W pracy określono zmiany wartości modułu zespolonego $|G^*|$ (Pa), odkształcenia γ (-) i kąta przesunięcia fazowego δ ($^\circ$) w zależności od dodatku preparatu błonnikowego o różnym stopniu rozdrobnienia i pochodzeniu. Ocenę właściwości reologicznych dokonano przy wykorzystaniu reometru firmy HAAKE RT20 w teście dynamicznym, przy wykorzystaniu oscylacji wymuszonych. Dodatek preparatów błonnikowych ma istotny wpływ na właściwości reologiczne układów lepkosprężystych na przykładzie ciasta drożdżowego. Dodatek zarówno jabłkowego, jak i owsianego preparatu błonnikowego ultradrobno rozdrobnionego istotnie wpływa na wzrost wartości modułu zespolonego ciasta, zmniejszenie wartości odkształcenia i kąta przesunięcia fazowego. Ponadto im większy stopień rozdrobnienia preparatu (R1), tym zmiany wielkości badanych parametrów reologicznych są większe.

Słowa kluczowe: reologia, preparat wysokobłonnikowy, struktura, deformacja, moduł zespolony

Wprowadzenie

Proces automatycznego formowania wymaga kontroli parametrów reologicznych formowanych mas. Płyny lepkosprężyste, do których należą półprodukty z ciasta pszenne, charakteryzują się słabą strukturą, która w wyniku stałego lub dynamicznego ścinania może być czasowo zniszczona. Osłabienie połączeń międzycząsteczkowych wiąże się ze spadkiem lepkości dynamicznej płynu. Reologia ciasta zajmuje się jego płynięciem i deformacją w każdej fazie jego produkcji (Wierzbicka, 2002). Deformacje zachodzą w fazie

wyrabiania (Zheng i in., 2000), fermentacji, formowania, wyrastania i pieczenia (Dobraszczyk i Morgenstern, 2003).

Zmiany właściwości reologicznych płynów lepkosprężystych zachodzą podczas przepływu masy przez poszczególne sekcje automatów formujących, które mają istotne znaczenie w kształtowaniu wydajności procesu produkcji i jakości produktu finalnego (Upadhyay i in., 2012; Hicks i in., 2012). Znajomość zachowania płynu lepkosprężystego w czasie przepływu rzeczywistego jest nieodzownym elementem opracowywania nowych technologii i doskonalenia istniejących wyrobów. Jest również istotne w predykcji jakości finalnego produktu (Nikolić i in., 2011).

Obecnie rozwój rynku piekarskiego i cukierniczego łączy się z koniecznością ciągłego dostosowywania oferty produktowej do potrzeb i oczekiwań nabywców. Zwraca się również szczególną uwagę na zastosowanie nowoczesnych technologii przetwarzania żywności, które pozwalają na zwiększenie stabilności oraz zawartości niezbędnych składników odżywczych w procesie produkcyjnym (Salehifar i Shahedi, 2007). W grupie produktów piekarskich i ciastkarskich istotną rolę odgrywają składniki odżywcze, wykazujące działanie prozdrowotne, ponieważ ze względu na wysoki udział pieczywa w przeciętnej racji pokarmowej, wzbogacenie ich w takie dodatki może przynieść realny, korzystny efekt zdrowotny (Wierzbicka, 2008). Efekt ten może być zrealizowany poprzez zastąpienie części składników w celu redukcji kaloryczności oraz zwiększenie ilości włókna pokarmowego, które wykazuje znaczący potencjał w zapobieganiu wielu chorobom cywilizacyjnym, w tym cukrzycy i otyłości (Bilgili i in., 2007).

Zastosowanie preparatu błonnikowego, w zależności od jego pochodzenia, tj. pszennego, owsianego (Sudha i in., 2007), jęczmiennego (Izydorzyc i in., 2008), ryżowego, ziemniaczanego, orzechowego (Anil, 2007), jabłkowego, cytrynowego (Figuerola i in., 2005), ma zróżnicowany wpływ na parametry lepkosprężyste ciasta – od pozytywnych do negatywnych (Collar i in., 2007). Istotne jest również, że dodany błonnik może uczestniczyć w tworzeniu struktury pieczywa (Kornmann i Huber, 2004).

Przeprowadzone dotychczas badania, wykorzystujące przy produkcji pieczywa preparaty błonnikowe, uwzględniały modyfikację takich czynników, jak wielkość dodatku soli (Angioloni i Dalla Rosa, 2005), wody, czas mieszenia oraz temperatura prowadzenia rozrostu ciasta i wypieku (Ahmed i in., 2008), jednakże niewiele doniesień naukowych skupia się na wpływie stopnia rozdrobnienia preparatu błonnikowego. W związku z tym istnieje konieczność przeprowadzenia wnikliwej analizy wpływu rodzaju dodanego preparatu i jego ilości na parametry reologiczne ciasta i parametry tekstury gotowego wypieku (Farahnaky i Hill, 2007).

Cel i zakres

Celem pracy była analiza wpływu stopnia rozdrobnienia preparatu błonnikowego owsianego i jabłkowego na właściwości reologiczne płynu lepkosprężystego, reprezentowanego przez ciasto pszenne drożdżowe. W pracy określono zmiany wartości modułu zespolonego $|G^*|$ (Pa), odkształcenia γ (-) i kąta przesunięcia fazowego δ (°) w zależności od dodatku preparatu błonnikowego o różnym stopniu rozdrobnienia i pochodzeniu.

Material badawczy

Przedmiotem badań były półprodukty z ciasta pszennego wytwarzanego z dodatkiem preparatów błonnikowych o różnym stopniu rozdrobnienia (R1: 10–13 μ m oraz R2: 20–25 μ m) i różnym pochodzeniu (błonnik owsiany – OW i jabłkowy – JB). Zastosowano mikronizowane preparaty błonnikowe, które charakteryzowały się następującymi parametrami (Tabela 1):

Tabela 1

Specyfikacja jabłkowego i owsianego preparatu błonnikowego

Table 1

Specification of apple and oat fibre preparation

Rodzaj preparatu	Zawartość błonnika ogółem (%)	Fracje nierozpuszczalne (%)	Fracje rozpuszczalne (%)	Wodochłonność (%)
JB	60	50	10	550
OW	80	78	2	300

Do produkcji ciasta używano mąki pszennej (typ 550, zawartość glutenu mokrego 30,8%). Mąkę zastępowano preparatem błonnikowym w ilości 4%, 8%, 12% i 16%. Dodatek poszczególnych składników ciasta, w odniesieniu na kg mieszanki mączno-preparatowej, był następujący: woda – 580 ml, gluten witalny – 50 g, drożdże piekarskie – 40 g, sól – 20 g, cukier – 10 g, emulgator Magimix Szary – 4 g oraz masło – 10 g. Ciasto zostało sporządzone metodą jednofazową (podczas produkcji ciasta nie używano rozczynu); do mieszenia używano miesiarki SIGMA QR12 (całkowity czas miesienia – 10 min). Próby do badań pobierano bezpośrednio po wyrobieniu ciasta.

Metodyka badawcza

Pomiar właściwości reologicznych został dokonany przy użyciu reometru firmy HAAKE RT20, który daje z możliwością prowadzenia pomiarów nieniszczących struktury materiału przy wykorzystaniu oscylacji wymuszonych. Do pomiarów wykorzystano sensor typu płytka–płytkę PP-20, charakteryzujący się następującymi parametrami: współczynnik $A = 636,6 \text{ kPa} \cdot \text{Nm}^{-1}$; współczynnik $M = 4 \text{ 998 s}^{-1} \cdot (\text{rad} \cdot \text{s}^{-1})^{-1}$.

Parametry pomiaru zostały dobrane na podstawie przeprowadzonych badań wstępnych, podczas których określono zakres liniowej lepkości. Wyznaczone parametry testu oscylacji wymuszonej OSC to: szczelina pomiarowa (GAP) – 2 mm, częstotliwość oscylacji – 1 Hz, naprężenie ścinające – 600 Pa, kąt obrotu sensora – 2°, czas pomiaru – 180 s, temperatura pomiaru – 25°C, masa próbki – 2 g. Badania obejmowały pomiary modułu zespolonego $|G^*|$ (Pa), odkształcenia γ (-) i kąta przesunięcia fazowego δ (°).

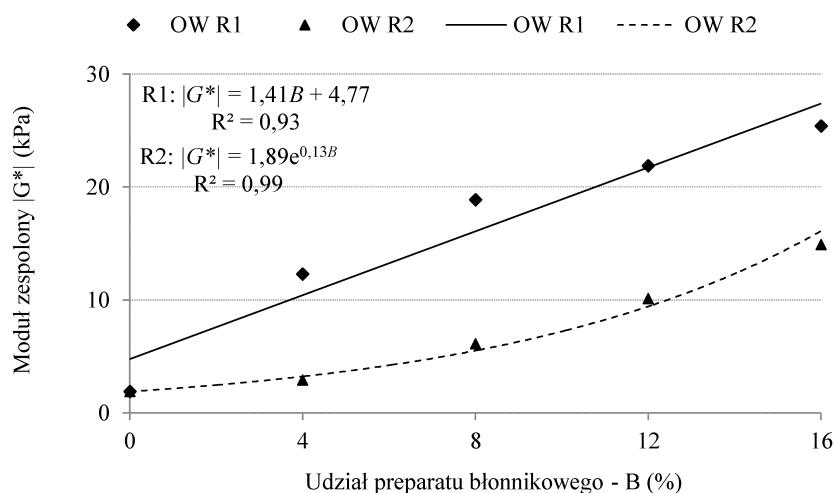
Ocenę statystyczną przeprowadzono z wykorzystaniem programu statystycznego Statistica 10.0 PL firmy StatSoft. Przy określaniu istotności różnic przyjęto poziom istotności statystycznej $\alpha=0,05$ (test t-Studenta).

Wyniki badań i dyskusja

Na poniższym wykresie (rys. 1) przedstawiono zależności pomiędzy ilością owsianego preparatu błonnikowego o dwóch stopniach rozdrobnienia (R1 i R2) a wartością modułu zespolonego $|G^*|$ (Pa). Odnotowano, że wartość modułu zespolonego $|G^*|$ wzrasta wraz ze zwiększającym się udziałem zastosowanego preparatu w próbach.

Wartości modułu zespolonego $|G^*|$ w półproduktach piekarskich z ciasta pszennego, z zastosowanym owsianym preparatem błonnikowym o stopniu rozdrobnienia R2, wykazywały mniejsze przyrosty, choć były one istotne statystycznie ($p \leq 0,05$), w stosunku do prób z preparatem o granulacji R1, o czym świadczy postać równania regresji (1):

$$|G^*| = 1,41B + 4,77; \quad R^2 = 0,93 \quad \text{dla: } 0 \% < B < 16 \% \quad (1)$$



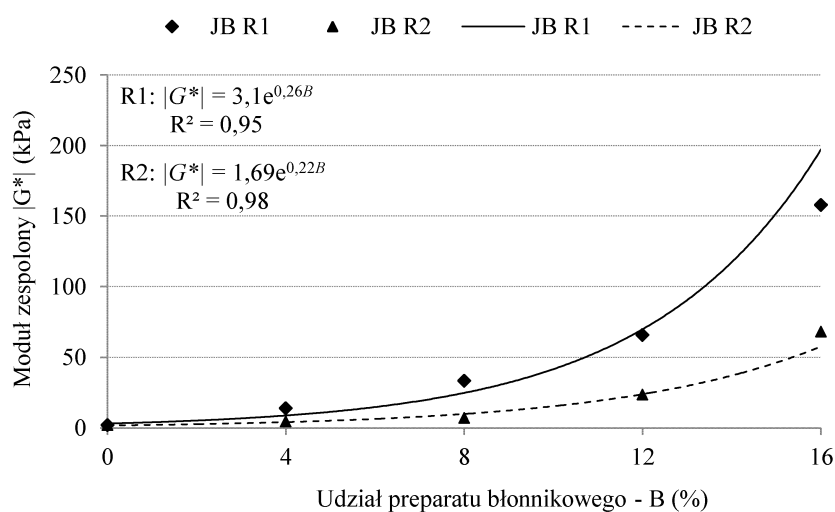
Rysunek 1. Zmiany modułu zespolonego $|G^*|$ (Pa) w zależności od ilości owsianego preparatu błonnikowego o różnym stopniu rozdrobnienia

Figure 1. Changes of the complex module $|G^*|$ (Pa) depending on the amount of the oat fibre preparation of a different degree of fineness

Wyniki średnich wartości modułu zespolonego $|G^*|$ przedstawionych na poniższym zestawieniu (rys. 2) wskazują na rosnący charakter tendencji zmian jego wartości, wywołanych zwiększaniem udziału jabłkowego preparatu błonnikowego. Taki kierunek zmian był obserwowany zarówno w próbach z preparatem jabłkowym o stopniu rozdrobnienia R1, jak i w próbach z R2. Zwiększany dodatek preparatu jabłkowego (obu rodzajów – R1 i R2) powodował powstawanie istotnych statystycznie różnic w wartościach modułu zespolonego ($p \leq 0,05$).

Przy analizie wpływu stopnia rozdrobnienia preparatu błonnikowego należy wskazać, że dla prób zawierających preparat o większym stopniu rozdrobnienia R1, przy każdym poziomie dodatku preparatu odnotowywano istotnie statystycznie ($p \leq 0,05$) wyższe wartości modułu zespolonego $|G^*|$, które są również wykazane w równaniu (2):

$$|G^*| = 3,1e^{0,26B}; R^2 = 0,95 \quad \text{dla: } 0 \% < B < 16 \% \quad (2)$$

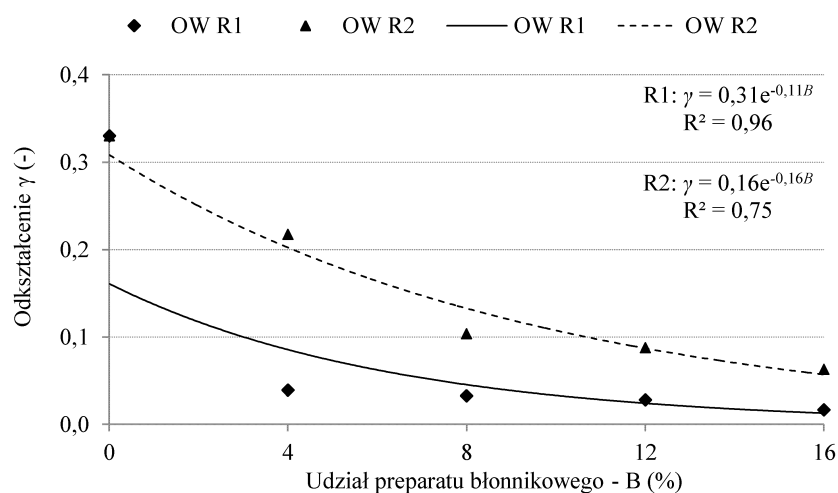


Rysunek 2. Zmiany modułu zespolonego $|G^*|$ (Pa) w zależności od ilości jabłkowego preparatu błonnikowego o różnym stopniu rozdrobnienia
 Figure 2. Changes of the complex module $|G^*|$ (Pa) depending on the amount of the apple fibre preparation of a different degree of fineness

W przypadku preparatu owsianego, tendencja zmian odkształcenia γ była malejąca wraz ze wzrostem udziału preparatu (rys. 3). Przy zastosowaniu preparatu o większym stopniu rozdrobnienia (R1) obserwowano mniejsze wartości odkształcenia niż w przypadku prób z R2, które opisuje również równanie (3):

$$\gamma = 3,1e^{-0,11B}; R^2 = 0,96 \quad \text{dla: } 0 \% < B < 16 \% \quad (3)$$

Różnice wartości odkształcenia w poszczególnych próbach zróżnicowanych ze względu na stopień rozdrobnienia preparatu wynosiły kolejno: dla próby z 4% preparatu – 82% ($p = 0,0000$), dla próby z 8% preparatu – 68,6% ($p = 0,0000$), dla próby z 12% preparatu – 68,2% ($p = 0,0000$) i dla próby z 16% preparatu – 73,8% ($p = 0,0068$).



Rysunek 3. Zmiany odkształcenia γ (-) w zależności od ilości owsianego preparatu błonnikowego o różnym stopniu rozdrobnienia

Figure 3. Changes of deformation γ (-) depending on the amount of the oat fibre preparation of a different degree of fineness

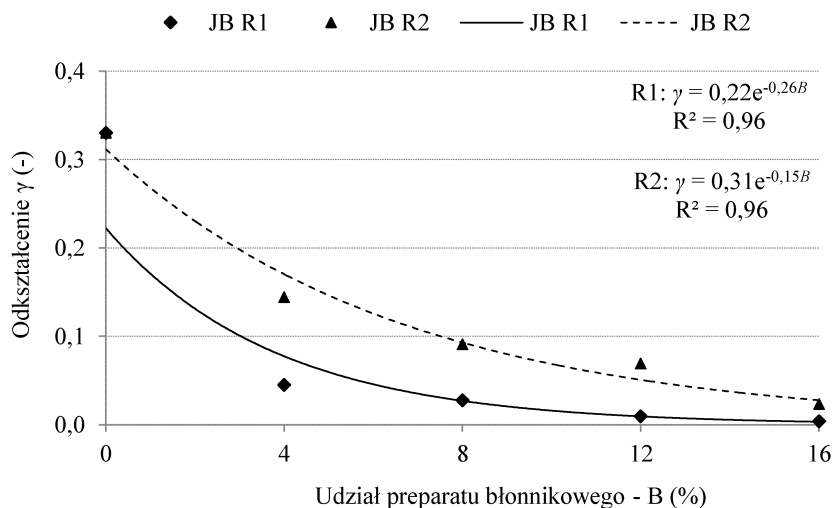
Stwierdzono, że wraz ze wzrostem zawartości preparatu błonnika jabłkowego wartości odkształcenia γ przyjmują również tendencję spadkową (rys. 4). Spadek ten występuje niezależnie od stopnia rozdrobnienia preparatu. Już przy minimalnym (4%) dodatku preparatu o stopniu rozdrobnienia R2 można zauważyć zmniejszenie o 56,4% wartości odkształcenia ($p \leq 0,05$). Kolejne zawartości preparatu nie powodowały już tak dużych zmian w wartościach odkształcenia, co potwierdza równanie regresji (4):

$$y = 3,1e^{-0,15B}; R^2 = 0,96 \quad \text{dla: } 0 \% < B < 16 \% \quad (4)$$

Stwierdzono, że próby zawierające jabłkowy preparat błonnikowy o stopniu rozdrobnienia R2 były pod względem wielkości odkształcenia bardziej zbliżone do próby bez dodatku błonnika niż analogiczne próby zawierające błonnik o stopniu rozdrobnienia R1.

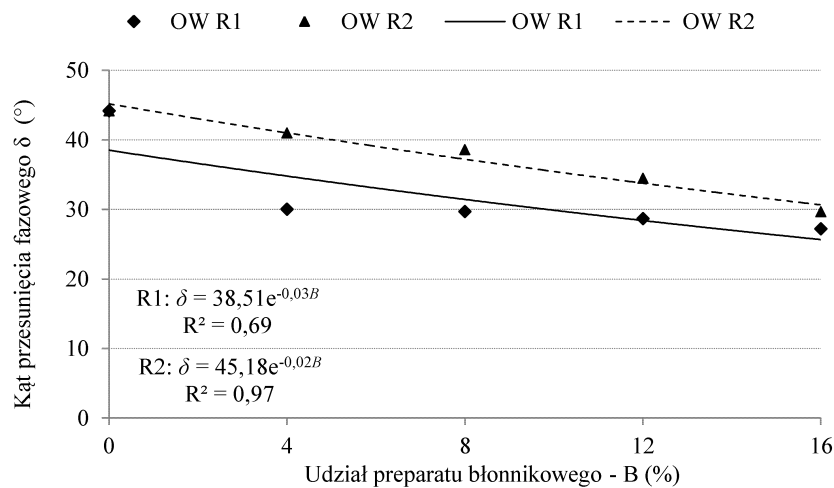
Z zestawienia średnich wartości kąta przesunięcia fazowego δ (°) dla grupy półproduktów piekarskich z ciasta pszennego z dodatkiem owsianego preparatu błonnikowego (rys. 5) wynika, że wraz ze wzrostem udziału preparatu wartość tego parametru ulega zmniejszeniu.

Porównując próby ze względu na wpływ stopnia rozdrobnienia dodawanego owsianego preparatu do ciasta pszennego na wartość kąta przesunięcia fazowego δ (°), należy wskazać na większe i bliższe wartości omawianego parametru charakteryzującego próbę kontrolną, którą zaobserwowano w próbach z preparatem o rozdrobnieniu R2 (równanie 5). Zastosowanie preparatów o granulacji R1 i R2 dawało znaczące statystycznie ($p \leq 0,05$) zmiany wartości kąta przesunięcia fazowego w porównaniu do próby kontrolnej.



Rysunek 4. Zmiany odkształcenia γ (-) w zależności od ilości jabłkowego preparatu błonnikowego o różnym stopniu rozdrobnienia

Figure 4. Changes of deformation γ (-) depending on the amount of the apple fibre preparation of a different degree of fineness



Rysunek 5. Zmiany kąta przesunięcia fazowego δ (°) w zależności od ilości owsianego preparatu błonnikowego o różnym stopniu rozdrobnienia

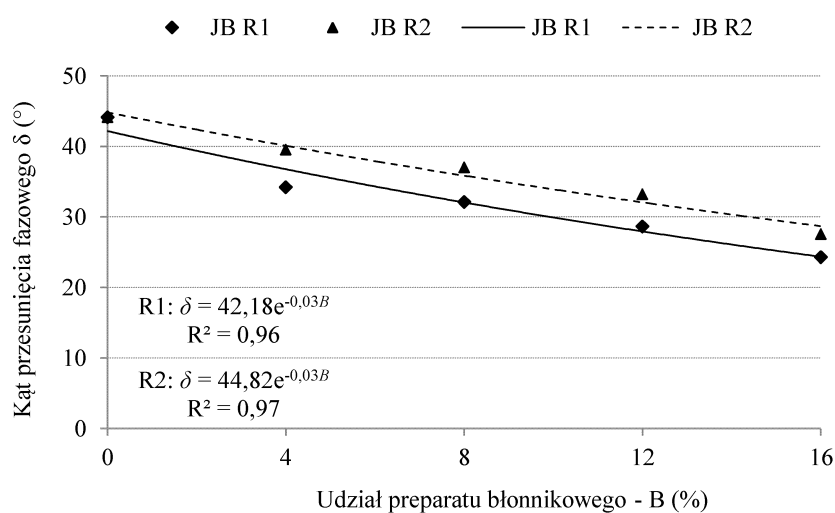
Figure 5. Changes of the angle of phase displacement δ (°) depending on the amount of the oat fibre preparation of a different degree of fineness

$$\delta = 45,18e^{-0,02B}; R^2 = 0,97 \quad \text{dla: } 0\% < B < 16\% \quad (5)$$

Wartość kąta przesunięcia fazowego w przypadku wszystkich analizowanych prób z preparatem jabłkowym (rys. 6), w porównaniu z próbą zerową, również ulegała istotnemu zmniejszeniu ($p \leq 0,05$) (zwiększenie cech sprężystych w stosunku do lepkich).

Stwierdzono, że próby zawierające błonnik jabłkowy o stopniu rozdrobnienia R2 były bardziej zbliżone wartościami omawianego parametru reologicznego do próby bez dodatku błonnika niż analogiczne próby zawierające błonnik o stopniu rozdrobnienia R1, co potwierdza również poniższe równanie (6):

$$\delta = 44,82e^{-0,03B}; R^2 = 0,97 \quad \text{dla: } 0\% < B < 16\% \quad (6)$$



Rysunek 6. Zmiany kąta przesunięcia fazowego δ (°) w zależności od ilości jabłkowego preparatu błonnikowego o różnym stopniu rozdrobnienia
 Figure 6. Changes of the angle phase displacement δ (°) depending on the amount of the apple fibre preparation of a different degree of fineness

Podobne wyniki uzyskali Lazaridou i in. (2007), którzy do produkcji pieczywa bezglutenowego stosowali wybrane hydrokoloidy (pektyny, karboksymetylocelulozę, agarozę – składniki rozpuszczalnych frakcji błonnika pokarmowego) i zaobserwowali wzrost odpowiadzi sprężystych po ich zastosowaniu (zmniejszenie wartości $\tan \delta$). W badaniach Wang i in. (2002) odnotowano, że dodatek preparatów błonnikowych (inulina, mączka chleba świętojańskiego, włókno z grochu) do mąki pszennej odpowiedzialny jest za zmiany właściwości reologicznych ciasta w mniejszym stopniu w porównaniu do zastosowania otrąb. Udział preparatów wpływa na zmniejszenie lepkości ciast i na ich lepszą elastyczność oraz bardziej wykształconą strukturę, z wyższym udziałem zatrzymanego powietrza (Chin i Campbell, 2005).

Dla celów aplikacyjnych zastosowanie preparatów błonnikowych o wysokim stopniu rozdrobnienia oznacza wzrost stabilności ciasta, zmniejszenie wrażliwości ciasta na zmiany wynikające z funkcji czasu i występujących lub przyłożonych naprężeń w cieście (w zależności od stopnia udziału preparatów, ich stopnia rozdrobnienia, co z kolei wpływa na poziom ich wbudowania w strukturę białkowo-skrobiową ciasta).

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

1. Zastosowanie preparatów błonnikowych w sposób znaczący zmienia właściwości reologiczne układów lepkosprężystych reprezentowanych przez pszenne ciasto drożdżowe. Dodatek zarówno jabłkowego, jak i owsianego preparatu błonnikowego ultradrobno rozdrobnionego, niezależnie od jego ilości, istotnie wpływa na wzrost modułu zespolonego, zmniejszenie wartości odkształcenia i kąta przesunięcia fazowego badanego ciasta.
2. Stopień rozdrobnienia preparatu błonnikowego (R1: 10-13 μ m i R2: 20-25 μ m) ma istotny wpływ w kształtowaniu charakterystyki reologicznej półproduktów piekarskich z ciasta pszennego. Im większy stopień rozdrobnienia preparatu (R1), tym zmiany wielkości badanych paramentów reologicznych są większe.

Literatura

- Ahmed, J.; Ramaswamy, H.S.; Raghavan, V.G.S. (2008). Dynamic viscoelastic, calorimetric and dielectric characteristics of wheat protein isolates. *Journal of Cereal Science*, 47(3), 417-428.
- Angioloni, A.; Dalla Rosa, M. (2005). Dough thermo-mechanical properties: influence of sodium chloride, mixing time and equipment. *Journal of Cereal Science*, 41, 327-331.
- Anil, M. (2007). Using of hazelnut testa as a source of dietary fiber in breadmaking. *Journal of Food Engineering*, 80, 61-67.
- Bilgili, N.; Ibanoglu, S.; Nur Herken, E. (2007). Effect of dietary fibre addition on the selected nutritional properties of cookies. *Journal of Food Engineering*, 78, 86-89.
- Chin, N.L.; Campbell, G.M. (2005). Dough aeration and rheology: Part 1. Effects of mixing speed and headspace pressure on mechanical development of bread dough. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 2184-2193.
- Collar, C.; Santos, E.; Rossel, C.M. (2007). Assessment of the rheological profile of fibre-enriched bread doughs by response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 78, 820-826.
- Dobraszczyk, B.J.; Morgenstern, M.P. (2003). Rheology and the breadmaking process. *Journal of Cereal Science*, 38, 229-245.
- Farahnaky, A.; Hill, S.E. (2007). The effect of salt, water and temperature on wheat dough rheology. *Journal of Texture Studies*, 38, 499-510.
- Figuerola, F.; Hurtado, M.L.; Estevez, A.M.; Chiffelle, I.; Asenjo, F. (2005). Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry*, 91, 395-401.
- Hicks, C.I.; See, H.; Fletcher, D.F.; Ekwebelam, C. (2012). The shear rheology of bread dough: Analysis of local flow behaviour using CFD. *Food and Bioproducts Processing*, 90, 361-369.

- Izydorczyk, M.S.; Chornick, T.L.; Paulley, F.G.; Edwards, N.M.; Dexter, J.E. (2008). Physicochemical properties of hull-less barley fibre-rich fractions varying in particle size and their potential as functional ingredients in two-layer flat bread. *Food Chemistry*, 108, 561-570.
- Kornmann, X.; Huber, C. (2004). Microstructure and mechanical properties of PZT fibres. *Journal of the European Ceramic Society*, 24, 1987-1991.
- Lazaridou, A.; Duta, D.; Papageorgiou, M.; Belc, N.; Biliaderis, C.G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79, 1033-1047.
- Nikolić, N.; Dodić, J.; Mitrović, M.; Lazić, M. (2011). Rheological properties and the energetic value of wheat flour substituted by different shares of white and brown rice flour. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 17(3), 349-357.
- Salehifar, M.; Shahedi, M. (2007). Effects of Oat Flour on Dough Rheology, Texture and Organoleptic Properties of Taftoon Bread. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 9, 227-234.
- Sudha, M.L.; Vetrmani, R.; Leelavathi, K. (2007). Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food Chemistry*, 100, 1365-1370.
- Upadhyay, R.; Ghosal, D.; Mehra, A. (2012). Characterization of bread dough: Rheological properties and microstructure. *Journal of Food Engineering*, 109, 104-113.
- Wang, J.; Rosell, C.M.; de Barber, B.C. (2002). Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chemistry*, 79, 221-226.
- Wierzbicka, A. (2002). Tworzenie i rozwój produktów dwurodnych, formowanych automatycznie. *Inżynieria Rolnicza*, 9(42), 301-306.
- Wierzbicka, A. (2008). *Trendy w piekarnictwie*. Polski Klaster Spożywczy. Białowieża.
- Zheng, H.; Morgenstern, M.P.; Campanella, O.H.; Larsen, N.G. (2000). Rheological properties of dough during mechanical dough development. *Journal of Cereal Science*, 32, 293-306.

IMPACT OF THE FINENESS DEGREE OF HIGH-FIBRE PREPARATION ON RHEOLOGICAL PROPERTIES OF WHEAT DOUGH

Abstract. The objective of the paper was to analyse the impact of the fineness degree of oat and apple fibre preparation on rheological properties of viscoelastic liquid represented by wheat yeast dough with addition of fibre preparations of different degree of fineness (R1: 10-13 μ m and R2: 20-25 μ m) and various origin (oat fibre - OW and apple fibre - JB). The paper determined changes of the value of the complex module $|G^*|$ (Pa), deformation γ (-) and the angle of phase displacement δ ($^\circ$) depending on the addition of the fibre preparation of a different degree of fineness and origin. Assessment of the rheological properties was carried out at the use of rheometer of HAAKE RT20 in a dynamic test at the use of forced oscillations. Addition of fibre preparations significantly influences rheological properties of viscoelastic systems on the example of yeast dough. Addition of both apple as well as ultra fine oat fibre preparation significantly influences the growth of the complex module of dough, the decrease of the deformation value and angle of phase displacement. Moreover, the higher is the degree of fineness of the preparation (R1) the bigger are the changes of the researched rheological parameters.

Key words: rheology, high-fibre preparation, structure, deformation, module

Adres do korespondencji:

Andrzej Półtorak; e-mail: andrzej_poltorak@sggw.pl
Samodzielny Zakład Techniki w Żywieniu
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
ul. Nowoursynowska 159C
02-776 Warszawa